Journal of Agroecology
Vol. 13, No.1, Spring 2021, p. 89-101

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۰۱-۸۹

مقاله علمی- پژوهشی

اثر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)

اردلان قیلاوی‌زاده[۱]، اسماعیل حدیدی ماسوله[۲*]، حمیدرضا ذاکرین[۲] و سید علیرضا ولدآبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸

قیلاوی‌زاده، ا.، حدیدی ماسوله، ا.، ذاکرین، ح و ولدآبادی، س.ع.، ۱۴۰۰. اثر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱۰۱-۸۹.

چکیده

رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گیاهی است چندساله که از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی به‌شمار می‌آید و عمدتاً به‌منظور استفاده از اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد. این تحقیق با هدف بررسی اثرات غلظت‌های مختلف اسید سالسیلیک بر خصوصیات کمّی و کیفی رازیانه تحت شرایط تنش خشکی انجام گردید. آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان رزن به‌اجرا در آمد. فاکتور اصلی شامل پنج سطح رژیم آبیاری (آبیاری کامل، حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی و حذف آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه) و فاکتور فرعی شامل چهار غلظت مختلف اسید سالیسیلیک (آب خالص، سه، شش و هشت میلی‌مولار) بود. در تیمار رژیم آبیاری، پس از حذف آبیاری در هر یک از تیمارهای خشکی، مجدداً آبیاری (بعد از ۲۰ روز) تا انتهای دوره رشد انجام شد. نتایج نشان داد که دو تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه و کاربرد شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، به‌ترتیب با ۲۱/۳ و ۲۰/۳ عدد شاخه فرعی در بوته، بیشترین انشعابات فرعی در بوته را به خود اختصاص دادند. تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه بیشترین تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه را از خود نشان داد. بیشترین تعداد چترک در چتر متعلق به تیمارهای کاربرد شش و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود. کمترین مقادیر دانه در چترک در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل با تولید بیش از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات کمّی و کیفی، رژیم آبیاری، محلول‌پاشی

مقدمه

ایران از نظر تنوع آب‌وهوایی، موقعیت جغرافیایی و زمینه رشد گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب شده و گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران به‌شمار می‌روند. با این وجود، کشور ما در بخشی از کره زمین قرار گرفته که نزولات ناچیز جوی در بسیاری از نقاط آن، نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی را تأمین نمی‌کند (Hassani & Omidbaigi, 2006). فراهمی آب از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد و نمو و همچنین مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد (Rhodes & Hanson, 1993). خشکی شایع‌ترین تنش محیطی و از عمده‌ترین

۱- دانشجوی دکتری کشاورزی زراعت گرایش اکولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.
۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.
۳- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hadidimasole@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v13i1.77417

چالش‌ها برای تولید محصولات زراعی در جهان به‌شمار می‌رود (Kafi et al., 2009) و به‌خوبی مشخص شده که اثر تنش آبی بر رشد، عملکرد و کیفیت گیاهان، به مدت زمان و میزان کمبود آب بستگی دارد (Pandey et al., 2001).

از آنجا که تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوسنتز متابولیت‌های گیاه اثرات بارزی دارد، شناخت آثار تنش خشکی بر روی گیاه می‌تواند به پی بردن به مراحل حساس رشدی و عکس‌العمل گیاه در برابر تنش خشکی کمک کند (Kafi et al., 2009). چرا که وقوع تنش خشکی، تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی متعددی را در گیاهان سبب می‌شود که می‌توانند تأثیر بازدارندگی شدیدی در رشد گیاه و در نتیجه، کاهش کمیت و کیفیت محصول داشته باشند (Imam & Zavarehi, 2005).

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گیاهی است چند ساله و متعلق به تیره چتریان (Apiaceae) که از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی این تیره به‌شمار می‌آید و عمدتاً به‌منظور استفاده از اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد (Omidbaigi, 2007). این گیاه به‌طور وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان کشت شده و وجود آب‌وهوای مدیترانه‌ای و گرم برای رشد و نمو آن مطلوب است (Omidbaigi & Hornok, 1991). بنابراین، تنش خشکی می‌تواند عملکرد و کیفیت این گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. محمد و عبدو (Mohamed & Abdu, 2004) گزارش کردند که تنش کم‌آبی ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در ساقه اصلی و عملکرد میوه رازیانه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج تحقیق عثمان (Osman, 2009) نیز نشان داد که با افزایش میزان آبیاری، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و عملکرد میوه رازیانه افزایش معنی‌داری پیدا کرد. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chiyaneh et al., 2013) در مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیکی رازیانه به محدودیت آب، بیان نمودند که با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ میلی‌متر به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ به‌ترتیب ۳۰، ۲۴، ۲۷ و ۴۱ درصد کاهش یافت. در تحقیقی دیگر، الکیسی و همکاران (Al-Kayssi et al., 2011) طی بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه دارویی زیره سیاه، (*Bunium persicum*) گزارش کردند که کاهش فراهمی آب و رطوبت خاک، مراحل رشدی، تشکیل بذر و تعداد روز تا رسیدگی زیره سیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار داد. Aziz et al. (2008) نیز با بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری در گیاه دارویی آویشن باغی، اظهار داشتند که گیاهان آبیاری شده با مدارهای آبیاری ۳ و ۱۰ روز یک بار آبیاری، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک بوته را از خود نشان دادند.

تحقیقات نشان داده‌اند که یکی از ترکیباتی که می‌تواند به افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی، کمک کند، اسید سالیسیلیک است (Belkhadi et al., 2010). کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاهان سبب مهار رادیکال‌های آزاد فعال اکسیژن (ROS[1]) تولید شده تحت تنش می‌گردد (Wang et al., 2006). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک میزان نشت الکترولیت را کاهش داده و از طریق افزایش محتوی رطوبت نسبی برگ، منجر به حفظ تورم و آماس برگ می‌شود. غشای سلولی را حفاظت کرده و با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و حفظ آن‌ها تحت شرایط تنش موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه و مقاومت گیاه را در شرایط سخت ناشی از تنش می‌گردد (Belkhadi et al., 2010). از این رو، هدف از این تحقیق بررسی اثرات غلظت‌های مختلف اسید سالسیلیک بر خصوصیات کمّی و کیفی رازیانه تحت شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در یک مزرعه شخصی در شهرستان رزن استان همدان با ارتفاع ۲۷۹۹ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۱ درجه سانتیگراد طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام گردید. مختصات جغرافیایی محل انجام آزمایش شامل: عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱ دقیقه شرقی می‌باشد. آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات (کرت‌های خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌اجرا در آمد. فاکتور اصلی شامل پنج سطح رژیم آبیاری (آبیاری کامل، حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی و حذف آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه) و فاکتور فرعی شامل چهار غلظت مختلف اسید سالیسیلیک (صفر (آب خالص)، سه، شش و هشت میلی‌مولار) بود. تیمار اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و

1- Reactive Oxygen Species

در مراحل ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای غنچه‌دهی به‌وسیله سم‌پاش پشتی اعمال گردید. در تیمار رژیم آبیاری، پس از حذف آبیاری در تیمارهای خشکی، مجدداً آبیاری (بعد از ۲۰ روز) تا انتهای دوره رشد انجام شد. عملیات آبیاری هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. مراحل مختلف فنولوژی رازیانه شامل: جوانه‌زنی، سبز شدن، رزت، ساقه‌دهی، غنچه‌دهی، گل‌دهی کامل، رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- مراحل فنولوژیک گیاه رازیانه

Table 1- Phonological stages of Fennel

مرحله فنولوژی Phenological stage	جوانه‌زنی Germination	سبز شدن Emergence	رزت Rosette	ساقه‌دهی Stemming	غنچه‌دهی Budding	گل‌دهی کامل Full flowering	رسیدگی فیزیولوژیک
روز پس از کاشت Day after planting	4	7	20	35	50	58	125

قبل از انجام عملیات کاشت، از خاک مزرعه در عمق ۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن تعیین شدند (جدول ۲). پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین (شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته)، کاشت در تاریخ بیستم فروردین ماه سال ۱۳۹۵ در وسط پشته انجام گردید. فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود و در هر کرت پنج ردیف منظور شد که دو ردیف کناری به‌عنوان حاشیه بودند. طول کرت‌ها شش متر و عمق کاشت پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

جدول -. مشخصات خاک محل آزمایش

Table 1- Traits of soil of experiment location

اسیدیته pH	هدایت‌الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	آهک $CaCO_3$ (%)	کربن آلی OC (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
7.40	1.02	0.09	8.10	208.6	3.60	1.3	53	26	21	S.C.L

به‌منظور تعیین مقدار آب مصرفی، ابتدا از خاک مزرعه نمونه‌برداری و مقدار رطوبت آن، در حالت FC محاسبه گردید. بدین صورت که ۲۴ ساعت پس از آبیاری مزرعه، از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه (از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری و توزین گردید. سپس جهت تعیین وزن خاک خشک، نمونه خاک به‌مدت ۲۴ ساعت به آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. بدین ترتیب، درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۱ تعیین گردید. در ادامه، در هر مرتبه آبیاری، وضعیت رطوبت فعلی خاک به‌روش وزنی و همچنین با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) اندازه‌گیری شد (سنسورهای دستگاه TDR هم‌زمان با کاشت، در زمین به‌طور ثابت نصب شدند) و با استفاده از معادله ۲ عمق آب آبیاری محاسبه گردید (Arshadi, 2016):

معادله (۱)

۱۰۰ × وزن خاک خشک/وزن خاک خشک − وزن خاک تر = درصد رطوبت وزنی خاک

$$I = (W_1 - W_2)/100 \times D \times Pb$$ معادله (۲)

که در آن، I: ارتفاع آب آبیاری برحسب سانتی‌متر، W1: مقدار رطوبت خاک در وضعیت FC برحسب درصد، W_2: مقدار رطوبت فعلی خاک برحسب درصد، D: عمق ریشه برحسب سانتی‌متر و Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند.

در نهایت، از حاصل‌ضرب عمق آب آبیاری در مساحت زمین، حجم آب ورودی برای هر تیمار بر حسب متر مکعب به‌دست آمد که با استفاده از کنتور، حجم آب ورودی به کرت‌ها کنترل گردید.

در انتهای فصل رشد، به‌منظور بررسی اجزای عملکرد، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، از نیمه شمالی هر کرت تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات تعداد انشعابات فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. در نیمه جنوبی هر کرت نیز که به ارزیابی عملکرد دانه اختصاص یافته بود، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، پس از جمع‌آوری بوته‌ها و جداسازی دانه‌ها عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. علاوه‌براین، به‌منظور استخراج اسانس، بذرها در آون در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد خشک شده و پس از آن، به‌روش تقطیر با آب،

اسانس دانه‌ها استخراج و درصد اسانس محاسبه گردید (Pouryousef, 2015).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

تعداد انشعابات فرعی

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد انشعابات فرعی در بوته رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که دو تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه و کاربرد شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، به‌ترتیب با ۲۱/۳ و ۲۰/۳ عدد شاخه فرعی در بوته، بیشترین انشعابات فرعی در بوته را به خود اختصاص دادند و در سایر تیمارها، تعداد انشعابات فرعی در بوته حتی به ۱۹/۷ انشعابات فرعی در بوته هم نرسید. پس از این دو تیمار، تیمارهای کاربرد سه و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۱۹/۶ و ۱۹/۰ عدد شاخه فرعی در بوته، در رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۴). کمترین مقادیر تعداد انشعابات فرعی در بوته نیز به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی تعلق داشت. به‌طوری‌که در مقادیر صفر، سه و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، تعداد انشعابات فرعی در بوته حتی به ۱۵ عدد هم نرسید (جدول ۴). از آنجایی که واحدهای زایشی در گیاه رازیانه در انتهای انشعابات فرعی قرار دارند (Anant et al., 2005)، به نظر می‌رسد که افزایش تعداد انشعابات فرعی در بوته، می‌تواند به افزایش واحدهای زایشی در بوته منجر شود. لکن به نظر می‌رسد که در بین مراحل فنولوژیک مورد بررسی در این تحقیق، مرحله ساقه-دهی مهم‌ترین مرحله در تعیین تعداد انشعابات فرعی در بوته باشد. چرا که وقوع تنش خشکی در این مرحله نسبت به سایر مراحل فنولوژیک، بیشترین تأثیر را در کاهش تعداد انشعابات فرعی در بوته گذاشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در آزمایش

Table 2- Analysis of variance for studied traits in experiment

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد انشعابات فرعی در بوته No. of sub branches per plant	تعداد چتر در بوته No. of umbrella per plant	تعداد چترک در چتر No. of umbellet per umbrella	تعداد دانه در چترک No. of seed per umbellet	وزن هزار دانه Weight of 1000-seeds	عملکرد دانه Seed yield	میزان اسانس Essential oil content
تکرار Replication	2	16.2	24.6	7.2	8.4	0.01	4193.1	0.09
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	4	48.5 **	124.5 **	12.8 **	2.2 *	1.4 **	14559 **	1.5 **
خطای (الف) Error (a)	8	0.4	1.2	0.6	1.1	0.01	242	0.01
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	8.6 **	9.3 **	2.0 *	9.9 **	0.03 **	11969 **	1.0 **
I × SA	12	7.3 **	11.7 **	8.1 **	8.3 **	0.05 **	27727 **	0.06 **
خطای (ب) Error (b)	32	0.7	1.2	0.6	0.7	0.007	154.4	0.01
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	15.0	14.1	7.1	6.9	12.3	11.9	13.5

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

* and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اسید سالیسیلیک بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه

Table 3- Mean comparisons of interactions of irrigation regime and salicylic acid on yield, yield components and essential oil percentage of fennel

مقدار اسانس Essential oil content (%)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه Weight of 1000-seeds (g)	تعداد دانه در چترک No. of seed per umbellet	تعداد چترک در چتر No. of umbellet per umbrella	تعداد چتر در بوته No. of umbrella per plant	تعداد انشعابات فرعی در بوته No. of sub branches per plant	غلظت اسید سالیسیلیک SA. content (mM)	رژیم آبیاری Irrigation regime
3.03 ^{fh}	803.3 ^{a}	3.22 ^{kl}	15.3 ^{a}	11.6 ^{bd}	19.0 ^{hj}	15.0 ^{fh}	0	آبیاری کامل Complete irrigation
3.03 ^{fh}	803.3 ^{a}	3.43 ^{gi}	15.0 ^{a}	11.0 ^{cd}	23.6 ^{de}	15.6 ^{eg}	3	
3.00 ^{fh}	683.0 ^{c}	3.43 ^{gi}	13.0 ^{bd}	12.3 ^{bc}	25.6 ^{bd}	18.0 ^{cd}	6	
3.10 ^{eg}	534.0 ^{f}	3.10 ^{l}	10.0 ^{i}	9.3 ^{fh}	21.6 ^{fg}	19.0 ^{bc}	8	
2.50 ^{j}	689.3 ^{c}	3.16 ^{kl}	11.0 ^{fi}	10.3 ^{df}	20.0 ^{gi}	13.0 ^{i}	0	حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی Remove irrigation at stemming stage
2.70 ^{i}	683.3 ^{c}	3.10 ^{l}	12.6 ^{ce}	11.0 ^{ce}	20.0 ^{gi}	14.0 ^{hi}	3	
2.50 ^{j}	637.3 ^{d}	3.26 ^{jk}	13.0 ^{bd}	9.6 ^{eg}	20.6 ^{gh}	14.6 ^{fh}	6	
2.86 ^{hi}	581.7 ^{e}	3.23 ^{kl}	11.6 ^{dh}	10.0 ^{eg}	19.0 ^{hj}	16.0 ^{ef}	8	
3.00 ^{fh}	583.0 e	3.50 ^{gh}	10.6 ^{gi}	9.0 ^{fh}	23.0 ^{ef}	14.3 ^{gi}	0	حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی Remove irrigation at budding stage
3.20 $^{d-f}$	532.7 f	3.40 ^{hj}	12.0 ^{cg}	11.0 ^{ce}	27.0 ^{b}	15.3 ^{fh}	3	
2.90 ^{gh}	585.0 e	3.30 ^{ik}	10.6 ^{gi}	12.0 ^{bc}	25.6 ^{bd}	14.3 ^{gi}	6	
3.00 ^{fg}	790.1 a	3.50 ^{gh}	15.0 ^{a}	12.6 ^{b}	20.6 ^{gh}	17.0 ^{de}	8	
3.30 ^{e}	529.7 f	3.56 ^{fg}	10.3 ^{hi}	12.0 ^{bc}	18.3 ^{ik}	15.6 ^{eg}	0	حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی Remove irrigation at flowering stage
3.16 ^{df}	545.0 f	3.51 ^{gh}	12.0 ^{cg}	10.0 ^{eg}	17.0 ^{k}	17.6 ^{cd}	3	
3.30 ^{ce}	688.3 c	3.66 ^{ef}	10.0 ^{i}	8.6 ^{gh}	20.0 ^{gi}	20.3 ^{ab}	6	
3.53 ^{b}	533.7 f	3.80 ^{de}	13.0 ^{bd}	8.0 ^{h}	17.3 ^{jk}	18.0 ^{cd}	8	
3.83 ^{a}	693.0 c	3.90 ^{cd}	14.3 ^{ab}	12.0 ^{bc}	24.6 ^{ce}	21.3 ^{a}	0	حذف آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه Remove irrigation at seed filling stage
3.73 ^{a}	740.0 b	4.10 ^{b}	14.3 ^{ab}	11.0 ^{ce}	26.3 ^{bc}	19.6 ^{b}	3	
3.33 ^{cd}	566.3 e	4.00 ^{bc}	10.6 ^{gi}	14.3 ^{a}	24.0 ^{de}	19.0 ^{bc}	6	
3.46 ^{bc}	644.0 d	4.30 ^{a}	12.3 ^{cf}	13.0 ^{ab}	29.3 ^{a}	17.6 ^{cd}	8	

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

* Means that have a common letter, have not significantly different together at 5%.

هرچند که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌میزان هشت میلی‌مولار در مقایسه با سه سطح دیگر اسید سالیسیلیک در شرایط وقوع تنش در مرحله ساقه‌دهی، به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تعداد انشعابات فرعی در بوته گردید. با این حال، باز هم تعداد انشعابات فرعی در بوته در تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط وقوع تنش در مرحله ساقه‌دهی، کمتر از تعداد انشعابات فرعی در بوته در سطوح مشابه اسید سالیسیلیک و سایر سطوح رژیم آبیاری بود (جدول ۳). این موضوع نشان‌دهنده حساسیت بالای این مرحله فنولوژیک به تنش آبی در تعیین تعداد انشعابات فرعی در بوته می‌باشد. در همین راستا، محمد و عبدو (Mohamed & Abdu, 2004) گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در ساقه اصلی رازیانه گردید و این موضوع در کاهش عملکرد میوه رازیانه تأثیرگذار بود.

تعداد چتر در بوته

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد چتر در بوته رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه با ۲۹/۳ عدد چتر در بوته، بیشترین تعداد چتر در بوته را از خود نشان داد. پس از این تیمار، تیمار کاربرد سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با ۲۷ عدد چتر در بوته، در رتبه بعدی قرار گرفت. در سایر تیمارها، تعداد چتر در بوته کمتر از ۲۶/۴ عدد بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر چتر در بوته به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. کمترین مقادیر چتر در بوته نیز در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در سه سطح صفر، سه و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، تعداد چتر در بوته کمتر از ۱۸/۴ عدد در بوته بود (جدول ۴). در سه رژیم آبیاری حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و آبیاری کامل، با افزایش مقدار اسید سالیسیلیک از شش به هشت میلی‌مولار، تعداد چتر در بوته به‌طور معنی‌داری و به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۴، ۱۹/۵ و ۱۵/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴). به‌طور کلی تعداد چتر در بوته رازیانه، علاوه‌بر ژنوتیپ، تا حد زیادی متأثر از عوامل محیطی همچون رطوبت خاک می‌باشد (Heidari et al., 2012). در تحقیق حاضر، بیشترین مقادیر چتر در بوته در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه وجود داشت. لذا به نظر می‌رسد که تعداد چتر در بوته رازیانه تا قبل از مرحله پر شدن دانه تعیین می‌شود و وقوع تنش رطوبتی در این مرحله، تأثیر چندانی بر تعداد چتر در بوته ندارد. نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi Shahri et al., 2015) نیز در ارزیابی کارکرد برخی از توده‌های رازیانه بومی ایران تحت شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی، کاهش معنی‌دار تعداد چتر در بوته را تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند. در تحقیقی دیگر، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) در بررسی اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه کاهش معنی‌دار تعداد چتر در بوته را در شرایط اعمال تنش خشکی عنوان کردند. علاوه‌براین، بر اساس نتایج تحقیق حاضر، چنین تفسیر می‌گردد که کاربرد اسید سالیسیلیک تا میزان شش میلی‌مولار می‌تواند در افزایش تعداد چتر در بوته تأثیرگذار باشد و کاربرد اسید سالیسیلیک بیش از این مقدار، سبب کاهش تعداد چتر در بوته می‌گردد. چن و همکاران (Chen et al., 2002) اظهار داشتند که اسید سالیسیلیک یک فیتوهورمون است که در برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی گیاه اعم از کنترل تنفس، بسته‌تر شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، جوانه‌زنی بذر، فرایند گلیکولیز، گل‌دهی و رسیدگی میوه نقش تنظیم‌کنندگی دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک از طریق ایجاد فرایندهای بالا باعث بهبود شرایط رشد رازیانه در شرایط تنش شده باشد.

تعداد چترک در چتر

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد چترک در چتر رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که تیمارهای کاربرد شش و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۱۴/۳ و ۱۳ عدد چترک در چتر، بیشترین تعداد چترک در چتر را از خود نشان دادند. در سایر تیمارها، تعداد چترک در چتر کمتر از ۱۲/۷ عدد بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر چترک در چتر به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. کمترین

مقادیر چترک در چتر نیز در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در دو سطح شش و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، تعداد چترک در چتر کمتر از ۸/۷ عدد در بوته بود (جدول ۴). گزارش‌های علمی حاکی از آن هستند که تعداد چترک در چتر رازیانه، از جمله اجزای عملکرد است که کاملاً تحت تأثیر عوامل محیطی همچون رطوبت خاک قرار می‌گیرد (Heidari et al., 2012). با توجه به اینکه در این تحقیق، بیشترین مقادیر چترک در چتر در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه وجود داشت، از این رو، به نظر می‌رسد که تعداد چترک در چتر رازیانه تا قبل از وقوع مرحله پر شدن دانه مشخص گشته و اعمال تنش رطوبتی در این مرحله، تأثیر چندانی بر تعداد چترک در چتر این گیاه ندارد. از طرف دیگر، با عنایت به این موضوع که کمترین مقادیر چترک در چتر در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی مشاهده گردید، لذا به نظر می‌رسدکه وقوع تنش خشکی در این مرحله سبب می‌شود تا چترک‌هایی که آغازه آن‌ها در چتر شکل گرفته است، فرصت ظهور پیدا نکنند. نتایج این تحقیق، با یافته‌های پوریوسف (Pouryousef, 2015) مطابقت دارد. این محقق نیز طی بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل و زمان برداشت بر عملکرد دانه و محتوای اسانس رازیانه، اثر سه سطح تنش خشکی عدم تنش (شاهد)، تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پر شدن دانه را مورد بررسی قرار داد. وی اظهار داشت که وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، تأثیر معنی‌داری در کاهش تعداد چترک در چتر رازیانه نداشت و از این نظر، اختلاف این تیمار با شاهد معنی‌دار نبود. اما اعمال تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار تعداد چترک در چتر رازیانه گردید. در تحقیقی دیگر، نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi et al., 2015 Shahri) نیز کاهش معنی‌دار تعداد چترک در چتر رازیانه را طی بررسی کارکرد برخی از توده‌های رازیانه بومی ایران تحت شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی، گزارش کردند.

تعداد دانه در چترک

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد دانه در چترک رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که تیمارهای کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل و همچنین کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه با تولید بیش از ۱۴/۳ عدد دانه در چترک، بیشترین تعداد دانه در چترک را به خود اختصاص دادند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند. در سایر تیمارها، تعداد دانه در چترک کمتر از ۱۳/۱ عدد بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، کمترین مقادیر دانه در چترک در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در دو سطح صفر و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، تعداد دانه در چترک کمتر از ۱۰/۴ عدد در چترک بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که مشابه صفت تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک رازیانه نیز تا قبل از وقوع مرحله پر شدن دانه مشخص گشته است. به عبارت دیگر، با توجه به وجود کمترین مقادیر تعداد دانه در چترک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، به نظر می‌رسدکه این مرحله نقش مهمی در تعیین تعداد دانه در چترک رازیانه داشته و وقوع تنش خشکی در این مرحله سبب می‌شود تا دانه‌هایی که آغازه آن‌ها در چترک تشکیل شده است، نتوانند فرصت ظهور پیدا کنند. علاوه‌براین، احتمالاً کاهش آب آبیاری در مرحله گل‌دهی، از طریق ایجاد اختلال در فرایند گرده‌افشانی و کاهش طول دوره گرده‌افشانی، موجب عدم تلقیح مناسب گل‌ها و کاهش تعداد دانه در چترک شده است. پوریوسف (Pouryousef, 2015) نیز طی بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل (تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پر شدن دانه) و زمان برداشت بر عملکرد دانه رازیانه، گزارش کرد که وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، تأثیر معنی‌داری در کاهش تعداد دانه در چترک رازیانه نداشت و از این نظر، اختلاف این تیمار با شاهد معنی‌دار نبود. امّا اعمال تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در چترک رازیانه گردید. کاهش تعداد دانه در گل‌آذین رازیانه در شرایط تنش خشکی، توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Heidari et al., 2012). بنابراین، با توجه به اینکه تعداد دانه در چتر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد رازیانه می‌باشد، لذا تغییرات در این صفت می‌تواند در عملکرد نهایی بسیار مؤثر باشد.

وزن هزار دانه

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که تیمار کاربرد هشت

میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه با وزن هزار دانه ۴/۳ گرم، بیشترین وزن هزار دانه را از خود نشان داد. پس از این تیمار، تیمارهای کاربرد سه و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۴/۱ و چهار گرم وزن هزار دانه، در رتبه بعدی قرار گرفتند. در سایر تیمارها، وزن هزار دانه کمتر از چهار گرم بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر وزن هزار دانه به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. به نظر می‌رسد که این موضوع ناشی از اهمیت پدیده انتقال مجدد در گیاه رازیانه و تأثیر کمتر تنش خشکی اعمال شده در مرحله پر شدن دانه، بر روی این پدیده مهم باشد. توضیح اینکه عموماً در گیاهان زراعی، در طی دوره‌ای از رشد، تجمع ماده خشک در بافت‌های گیاه بیشتر از میزان مصرف آن جهت رشد گیاه است. در این حالت مواد فتوسنتزی مازاد، به‌صورت قندهای مختلف، اغلب در ناحیه طوقه و ساقه ذخیره می‌شوند و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از دو تا سه هفته پس از گل‌دهی شروع می‌شود به دانه انتقال می‌یابند (Sabry et al., 1995). در دوره پر شدن دانه فعالیت اندام‌های فتوسنتزی تا حدی کاهش یافته و سرعت تجمع ماده خشک در دانه از سرعت تولید آن در کل گیاه بیشتر است (Ahmadi et al., 2006). لذا در این زمان، نقش پدیده انتقال مجدد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. واردلو و ویلنبرینک (Wardlow & Wilenbrink, 1994) گزارش کردند که سهم کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در پر شدن دانه تحت شرایط مطلوب تقریباً ۵ تا ۱۵ درصد است. امّا در شرایط تنش، نقش پدیده انتقال مجدد، پر رنگ تر می‌شود. به عبارت دیگر، در شرایط بروز محدودیت آب و تنش رطوبتی، به‌واسطه اثرات کاهشی تنش خشکی بر روی فتوسنتز جاری، نقش پدیده انتقال مجدد، در پر شدن دانه پر رنگ‌تر می‌گردد (Ahmadi et al., 2006). در تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد که وقوع تنش خشکی در مراحل قبل از پر شدن دانه، تأثیر سوئی بر روی ذخیره مواد فتوسنتزی مازاد داشته و این امر سبب کم‌رنگ شدن نقش پدیده انتقال مجدد در زمان پر شدن دانه شده است. لکن در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه (که قبل از آن، گیاه با تنشی مواجه نشده و به‌خوبی به ذخیره مواد فتوسنتزی پرداخته است)، پدیده انتقال مجدد، نقش بسزایی را در پر شدن دانه و به‌دنبال آن، افزایش وزن هزار دانه ایفا کرده است. همچنین در تحقیق حاضر، در دو رژیم آبیاری حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه، با افزایش مقدار اسید سالیسیلیک از صفر به هشت میلی‌مولار، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری و به‌ترتیب به‌میزان ۶/۷ و ۱۰/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کاربرد اسید سالیسیلیک در این مراحل رشدی، می‌تواند در افزایش وزن هزار دانه رازیانه مؤثر باشد. اسید سالیسیلیک با افزایش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال این مواد به‌سمت مخازن (بذرها) باعث افزایش وزن هزار دانه در این شرایط شده است (Yeganepur et al., 2016).

عملکرد دانه

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که کاربرد صفر و سه میلی-مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل با تولید بیش از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. بعد از این تیمارها، تیمار کاربرد سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه، با عملکرد دانه ۷۴۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. در سایر تیمارها، عملکرد دانه کمتر از ۶۹۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). به‌طور کلی، کمترین مقادیر عملکرد دانه در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در سه سطح صفر، سه و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، عملکرد دانه کمتر از ۵۴۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، به نظر می‌رسد که تأثیرگذارترین جزء عملکرد بر روی عملکرد دانه رازیانه، تعداد دانه در چترک باشد. چرا که در چهار تیماری که بالاترین عملکردهای دانه را از خود نشان دادند، بیشترین تعداد دانه در چترک نیز وجود داشت. علاوه‌براین، با توجه به نقش تأثیرگذار تعداد دانه در چترک بر عملکرد دانه رازیانه و اثربخشی بالای تیمار حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی بر روی این جزء از عملکرد، به نظر می‌رسد که وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی نسبت به سایر مراحل رشدی، بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد دانه رازیانه دارد. پوریوسف (Pouryousef, 2015) نیز طی بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل (تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پر شدن دانه) و زمان برداشت بر عملکرد دانه رازیانه، وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی را مهم‌ترین عامل در کاهش تعداد دانه در چترک و به‌دنبال آن، کاهش عملکرد دانه رازیانه عنوان

کرد. در تحقیقی دیگر، پوریوسف و همکـاران (Pouryousef et al., 2012) بیان نمودند که بروز تنش خشکی طی مراحل مختلف نمـوی مخصوصاً مرحله زایشی سبب کاهش طول دوره فتوسـنتزی، انتقـال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه‌ها و در نهایت، کاهش عملکـرد دانـه رازیانـه می‌گـردد. نـوروزی شـهری و همکـاران (Nourruzi et al., 2015 Shahri) گزارش کردند که وقوع تـنش خشـکی در مرحلـه زایشـی، علاوه‌بر کاهش قدرت مخزن در انباشت مـواد فتوسـنتزی و کـاهش تعداد دانه در چتر، بر فتوسنتز جاری نیز اثر سوء داشته و این امر باعث کاهش عملکرد دانه رازیانه می‌شود.

مقدار اسانس دانه

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر مقدار اسانس دانـه رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که تیمارهای کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۳/۸۳ و ۳/۷۳ درصد اسـانس، بیشـترین مقـدار اسانس را از خود نشان دادند. بعد از ایـن تیمارهـا، دو تیمـار کـاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مراحل حذف آبیـاری در زمـان گل‌دهی و در زمان پر شدن دانه در رتبه بعدی قرار گرفتند. در سـایر تیمارها، مقدار اسانس، کمتر از ۳/۳۳ درصد بود (جـدول ۴). بـه‌طـور کلی، بیشترین مقادیر اسانس به سطوح مختلف اسید سالیسـیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانـه تعلـق داشـت. کمتـرین مقادیر مقدار اسانس نیز در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در هیچ یک از سطوح اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیـاری، مقـدار اسـانس حتی به ۲/۹ درصد هم نرسید (جدول ۴). به‌طور کلی، تشکیل و تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس در گیاهان، تحـت شـرایط تـنش خشکی تمایل به افزایش دارد. چرا که با وقوع تنش خشکی، رشد گیاه تا حد زیادی متوقف شده و گیاه کربن جذب شده از روزنـه‌هـا را کـه می‌بایست در فرایند فتوسنتز شرکت کند، به تولیـد ترکیبـات ثانویـه اختصاص می‌دهـد (Nourruzi Shahri et al., 2015). بـه عبـارت دیگر، با وقوع تنش خشکی، گیاه برای انجام تنظیم اسمزی، غلظـت متابولیت‌ها را در سلول‌های بخش‌های حساس خود افزایش می‌دهـد که در نتیجه آن، پتانسیل اسمزی منفی‌تر می‌گردد (Claudio et al., 2006). تنظیم اسمزی می‌تواند به‌وسیله تبـدیل پلـی سـاکاریدها بـه یکـدیگر (مثـل نشاسـته، فروکتـان‌هـا و ...) و همچنـین تبـدیل الیگوساکاریدها به یکدیگر (مثل سـاکارز و ...) کنتـرل شـود. در ایـن مکانیسم، گیاه از طریق تجمع متابولیت‌ها در سلول‌های در حال رشد و نقاط مریستمی، پتانسیل اسمزی را در این سلول‌ها منفی‌تر کرده و بدین ترتیب، جذب آب و آماس سلولی را برای این سلول‌ها حفظ می‌کند (Claudio et al., 2006). لکن بـا کـاهش آب آبیـاری میـزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیـاه بـیش از فتوسـنتز محدود می‌شود و در نتیجه، بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص مـی‌یابـد (Pouryousef, 2015). این نتایج با گزارش‌های نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi Shahri et al., 2015) مطابقت دارد. آن‌هـا نیـز افـزایش مقـدار اسانس رازیانه را در شرایط وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی گیـاه عنوان کردند. همچنین در تحقیق حاضر، در دو رژیم آبیـاری حـذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و حذف آبیاری در مرحلـه گـل‌دهـی، بـا افزایش مقدار اسید سالیسیلیک از صفر به هشت میلـی‌مـولار، مقـدار اسانس به‌طور معنی‌داری و به‌ترتیب بـه‌میـزان ۱۴/۴ و ۶/۹۷ درصـد افزایش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاربرد اسید سالیسیلیک در این مراحل رشدی، می‌تواند در افزایش مقدار اسانس رازیانـه مـؤثر باشد. هوروات و همکاران (Horvath et al., 2007) در گزارش‌هـای خود بیان نمودند که کاربرد خارجی اسـید سالیسـیلیک باعـث ایجـاد مقاومت نسبت به تنش خشکی از طریق بسته‌تر شـدن روزنـه‌هـا در گیاهان می‌شود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، به نظر می‌رسد که وقـوع تـنش خشـکی در مرحلـه گل‌دهی نسبت به اعمال تنش در سایر مراحل رشدی، بیشترین تأثیر را در کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه رازیانـه داشـت. همچنـین اعمال اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، سبب بهبود عملکرد دانه و همچنین در مرحله ساقه‌دهی و گـل‌دهـی باعث افزایش مقدار اسانس دانه رازیانه گردید. هرچند کـه اثربخشـی آن از روند خاصی پیروی نکرد. علاوه‌براین، بیشترین مقادیر اسـانس دانه در زمان وقوع تنش خشکی در مرحله پـر شـدن دانـه ملاحظـه گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای کاربرد صفر و سـه میلـی‌مـولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحلـه پـر شـدن دانـه،

بیشترین مقدار اسانس را تولید کردند.

References

Ahmadi, A., Si-o-se Mardeh, A., and Zali, A., 2006. Comparison of storage capacity and remobilization of photosynthetic materials and their contribution to yield of four wheat cultivars under favorable irrigation and drought stress conditions. Journal of Agricultural Science of Iran 35(4): 921-931. (In Persian with English Summary)

Al- Kayssi, A.W., Shihab, R.M., and Mustafa, S.H., 2011. Impact of soil water stress on Nigel lone oil content of black cumin seeds grown in calcareous-gypsifereous soils. Agriculture, Water Management 100: 46-57.

Anant, K.J., Sanket, K.J., and Tarun, P., 2005. Seed album of some medicinal plants of India. Asian Medicinal Plants and Health Care Trust, New Dehli, India. 107 pp.

Arshadi, M.J., 2016. Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinium* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza in response to drought stress. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agricultureو Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Aziz, A.E., Handawi, S.T., and Din, E.E., 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield, and constituents of (*Thymus vulgaris*) plant. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 4: 443-450.

Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W., and Djebali, W., 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in (*Linum usitatissimum* L.) Ecotoxicology and Environmental Safety 1-8.

Chen, H., Qualls, R.G., and Miller, G.C., 2002. Adaptive responses of (*Lepidium latifolium*) to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, parenchyma formation, and ethylene production. Environmental and Experimental Botany 48: 119-128.

Claudio, A., Chimenti, M., Marcantonio, M., and Hall, A.J., 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. Field Crops Research 95: 305–315.

Hassani, A., and Omidbaigi, R., 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). Journal Biological science 6(4): 763-767. (In Persian with English Summary)

Heidari, N., Pouryousef, M., Tavakoli, A., and Saba, J., 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28: 121-130. (In Persian with English Summary)

Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T., 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Journal of Plant Growth Regulation 26: 290-300.

Imam, Y., and Zavarehi, M., 2005. Drought Tolerance in Higher Plants (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis). Academic Publishing Center of Tehran, Iran. pp. 186. (In Persian)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Azizi, G., 2006. The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foenicolum vulgare*) landraces. Iranian Journal of Field Crops Research 4: 131-139. (In Persian with English Summary)

Mohamed, M.A.H., and Abdu, M., 2004. Growth and oil production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill), effect of irrigation and organic fertilization. Biology, Agriculture and Horticulture 22: 31-39.

Nourruzi Shahri, F., Pouryousef, M., Tavakkoli, A., Saba, J., and Yazdinezhad, A.R., 2015. Evaluation of the function of some Native fennel masses (*Foeniculum vulgare* Mill.) of Iran under drought stress. Journal of Iranian Crop Science 46(1): 49-56. (In Persian with English Summary)

Omid Baigi, R., 2007. Production and processing of medicinal plants. (4^{th} Ed.). Astan Ghods Publication, Iran Vol. 2, 438 pp. (In Persian).

Omid Baigi, R., and Hornok, L., 1991. Effect of water supply on the production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) International Conference of Cultivation, Collection and Processing of Medicinal Herbs, 4-6 June, Czechoslovakia.

Osman, Y.A.H., 2009. Comparative study of some agricultural treatments effects on plant growth, yield, and chemical constituents of some fennel varieties under Sinai conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5(4): 541-554.

Pandey, R.K., Maranville, J.W., and Admou, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a shaolin environment: I. Grain yield, yield components, and water use efficiency. European Journal of agronomy 15: 93-105.

Pouryousef, M., 2015. Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(6): 889-897. (In Persian with English Summary)

Pouryousef, M., Tavakoli, A., Maleki, M., and Barkhordari, K., 2012. Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). National Congress on Medicinal Plants, 16- 17 May, Kish Island, pp. 315. (In Persian with English Summary)

Rezaei Chiyaneh, E., Zehtab Salmasi, S., Ghassemi Golezani, K., and Delazar, A., 2013. Physiological responses of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) to water limitation. Journal of Agroecology 4(4): 347-355. (In Persian with English Summary)

Rhodes D., and Hanson, A.D., 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulphonium compounds in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 44: 357-384.

Sabry, S.R.S., Smith, L.T., and Smith, G.M., 1995. Osmo-regulation in spring wheat under drought and salinity stress. Journal of Genetics and Breeding 49: 55-60.

Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S., and Archbold, D.D., 2006. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and effects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. Postharvest Biology and Technology 41:244-251.

Wardlow, I.F., and Wilenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: The relation of sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. Australian Journal of Plant Physiology 21: 255-271.

Yeganepur, F., Zehtab Salmasi, S., Shafagh, J., and Ghasemi Golozani, K., 2016. Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum* L.), Journal of Crop Production 9: 37-55. (In Persion)

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.1, Spring 2021, p. 89-101

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۰۱-۸۹

Effect of Drought Stress and Different Concentrations of Salicylic Acid on Yield, Yield Components, and Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

A. Ghilavizadeh[1], E. Hadidi Msouleh[2*], H. Zakerin[2] and S.A. Valadabadi[3]

Submitted: 16-12-2018
Accepted: 17-04-2019

Ghilavizadeh, A., Hadidi Msouleh, E., Zakerin, H., and Valadabadi, S.A., 2021. Effect of drought stress and different concentrations of salicylic acid on yield, yield components, and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Agroecology 13(1):89-101.

Introduction

Medicinal plants are of the most valuable reserves of natural resources in Iran, and if there is correct recognition of them, these plants can play an important role in the health of the community, employment, and non-oil exports. Fennel (*Foeniculum vulgare* L.) is a perennial herb that is one of the most important and is widely used as medicinal plants that is mainly cultivated for the purpose of using essential oils in various industries of pharmaceutical, food, cosmetic and sanitary. Therefore, this research was carried out with the aim of investigating the effects of different concentrations of salicylic acid on the qualitative and quantitative characteristics of fennel under drought stress conditions at phonological stages.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications. The main factor included five levels of irrigation regimes: full irrigation, irrigation at stemming stage, irrigation at a budding stage, irrigation at flowering stage, and irrigation at seed filling stage. The subfactor included four different concentrations of salicylic acid: zero, 3, 6, and 8 mM. In the treatment of irrigation regimes, irrigation proceeded until the end of the growth period after irrigation was discontinued at the growth stage. At the end of the growing season, in order to evaluate the yield components, ten plants per plot were selected randomly, and the yield components were measured. In the southern half of each plot, seed yield was measured after collecting plants and seed separation. The essence of the seeds was extracted by the water distillation method, and the essential oil content was calculated.

Results and Discussion

The results showed that two treatments for non-application of salicylic acid in irrigation in the grain filling stage and application of six mM of salicylic acid at irrigation at flowering stage obtained the highest number of sub-branches per plant with 21.3 and 20.3 sub-branches in the plant, respectively. Treatment of application of 8 mM salicylic acid in irrigation at seed filling stage revealed the largest number of umbrellas per plant and weight of 1000 seeds. The largest number of umbellet per umbrellas belonged to six and eight mM salicylic acid applications in the treatment of irrigation at the seed filling stage. The lowest amount of seeds in the umbellet was observed at different levels of salicylic acid in irrigation at the flowering stage. Treatments of application of 8 mM salicylic acid in irrigation at budding stage and application of zero and three mM salicylic acid incomplete irrigation conditions obtained the highest seed yield by producing more than 790 kg per hectare. Application of zero and three mM

1- Ph.D. Student of Ecology, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.
2- Assistant Professor of Agronomy, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.
3- Associate Professor of Agronomy, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: hadidimasole@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v13i1.77417

salicylic acid at irrigation in seed filling stage showed the highest amount of essential oil by 3.83 and 3.73% essential oils, respectively, and after those, two treatments of application of 8 mM salicylic acid at irrigation in the flowering stage and at the time of seed filling were placed at the next rank.

Conclusion

In general, it seems that the occurrence of drought stress at the flowering stage compared to stress in other stages of development, had the greatest effect on reducing the yield components and grain yield of fennel. Also, the application of salicylic acid in conditions of irrigation removal in the budding stage improved seed yield, as well as at stemming and flowering stage, increased the amount of essential oil of fennel seed. However, its effectiveness did not follow a particular process. In addition, the highest amounts of essential oil were observed at the time of drought stress in the grain filling stage. The results showed that application of zero and three milliliters of salicylic acid produced the highest amount of essential oil at irrigation interruptions in the grain filling stage.

Keywords: Irrigation regime, Quantitative and qualitative traits, Foliar application